Untersuchungen zur Funktion des hinteren vertikalen Bogengangs beim Menschen

Hans-Jochem Farrenkopf

1980

Aus der Hals-,Nasen-,Ohrenklinik der
Universität Düsseldorf
Direktor: Professor Dr.K.H.Vosteen

Untersuchungen zur Funktion des hinteren vertikalen Bogengangs beim Menschen

D i s s e r t a t i o n
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin
der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf
vorgelegt von
Hans-Jochem Farrenkopf
198o

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

"Gedruckt mit der Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf"

Der Dekan
der Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf

gez.:Prof.Dr.H.L.Krüskemper

Referent

gez.:Prof.Dr.C.Morgenstern

Korreferent

gez.:Prof.Dr.F.Schübel

Inhaltsverzeichnis

		Seite
I.	Einleitung	1
II.	Anatomie und Physiologie des Gleichgewichtsorgans	3
III.	Untersuchungsmethode	9
IV.	Untersuchungs(Patienten)gut	13
V.	Ergebnisse	14
	1.Spontannystagmus	14
	2.Rotationsprüfungen	15
	3.Kalorische Prüfung	27
VI.	Diskussion	29
VII.	Zusammenfassung	38
VIII.	Literaturverzeichnis	39

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543910_0081

I Einleitung

Sehr viele Rezeptoren sind an der Aufrechterhaltung des Gleichgewichtes und der Informationsverarbeitung im zentralen Nervensystem beteiligt.Dieses Zusammenwirken so zahlreicher Komponenten ist die Ursache vieler Schwierigkeiten,wenn man die reine Wirkung des Vestibularis untersuchen soll.So liegen denn auch nur wenige Beobachtungen am Menschen vor,die die getrennten Funktionen der einzelnen Bogengänge und deren Zusammenspiel erklären können. Insbesondere einseitig totale Labyrinthausfälle mit Zerstörung des gesamten Bogengangsystems waren Grundlage für die Funktionskontrolle der Bogengänge.
Mit der Entwicklung der transtemporalen Neurektomie durch HOUSE und FISCH werden seit ca. 2o Jahren bei intaktem Labyrinth die nervösen Verbindungswege zum ZNS partiell oder total durchtrennt.Dabei gelangt man über das Os temporale in die mittlere Schädelgrube und eröffnet das Dach des inneren Gehörgangs,wobei im kranialen Teil die Pars superior des N.vestibularis und im kaudalen Teil die Pars inferior gelegen ist.Die nervösen Afferenzen des N.vestibularis verlaufen nämlich in zwei getrennten Fasern,wobei die Pars inferior nur den hinteren vertikalen Bogengang und Teile des Sacculus innerviert.Die Pars superior erreicht den horizontalen,den vorderen vertikalen (frontalen) Bogengang, den Utriculus und Teile des Sacculus.Durchtrennt man nur die Pars superior,so läßt sich bei intakter Endolymphströmung die Wirkung einer Reizung des hinteren vertikalen Bogengangs isoliert überprüfen, da nur von dort Nervenimpulse zum ZNS geleitet werden.

Akute Untersuchungen lassen sich deshalb nicht durchführen,weil es zunächst nach Durchtrennung eines Nerven zum Ausfallsymptom kommt,welches erst nach mehr oder weniger langer Zeit zu einer zentralen Kompensation und damit zu einem "steady state" führt.
Die Untersuchungen wurden an zwei Patientengruppen durchgeführt,wobei die eine eine einseitig totale Neurektomie, d.h.Durchtrennung von Pars superior und Pars inferior des N.vestibularis,die andere eine Durchtrennung nur der Pars superior des N.vestibularis einer Seite aufwiesen.Beide Gruppen wurden einer intensiven kalorischen und rotatorischen Prüfung in Optimum- und Pessimumstellung des jeweiligen vertikalen Bogenganges unterworfen.Elektronystagmographisch registrierten wir sowohl den vertikalen als auch den horizontalen Nystagmus.

II Anatomie und Physiologie des Gleichgewichtsorgans

Das zum Innenohr gehörende Gleichgewichtsorgan liegt im Felsenbein;man unterscheidet das Bogengangsystem,den Utriculus und den Sacculus.Das Bogengangsystem besteht aus drei röhrenförmigen Bogengängen,wobei der horizontal gelegene Bogengang um etwa 3o°nach ventral ansteigt,die beiden vertikalen Bogengänge mit dem horizontalen Bogengang und untereinander jeweils Winkel von etwa 9o° bilden,sowie mit der Sagittalebene Winkel von 45° bzw. 135°.Alle Bogengänge haben direkte Verbindung mit dem Utriculus,wobei der horizontale zwei Zugänge,die beiden vertikalen je einen eigenen und einen gemeinsamen Zugang,das sog."Crus commune", besitzen. (s.Abb.1) Jeder Bogengang weist zudem eine ampullenförmige Verdickung vor der Einmündung in den Utriculus auf.In dieser Ampulle befinden sich die Sinneszellen umgeben von Stützzellen,welche in eine gelatinöse Masse,die sog. Cupula,hineinragen,und die den gesamten Ampullenquerschnitt abdichtet.

Utriculus und Sacculus werden auch Maculaorgane genannt,da beide fleckförmige Anordnungen von Sinneszellen enthalten, welche auf Translationsbeschleunigungsreize reagieren.

Die Macula utriculi liegt bei aufrechter Kopfhaltung etwa waagerecht,die Macula sacculi etwa senkrecht.Die nervöse Versorgung erfolgt über den N.vestibularis,der vom Nervus vestibulocochlearis abstammt.Im Meatus acusticus internus liegt das Ggl.vestibulare,von dem bipolare Nervenfasern ausgehen.Die zentralen Fortsätze verlaufen über die medullären Vestibulariskerne und stellen Verbindung her zur Gegenseite,zum Kleinhirn,den Augenmuskelkernen,zum Cortex

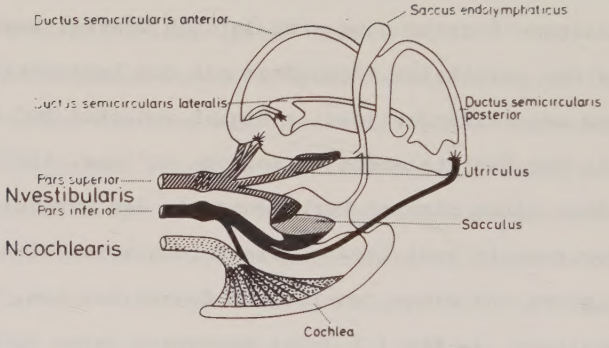


Abb.1 Labyrinthanatomie (schematisch) mit Darstellung der nervösen Versorgung der einzelnen Bogengänge.

sowie zu den Motoneuronen des Halsmarks und ins Rückenmark, um nur die wichtigsten zu nennen.Die zentralen Fortsätze spalten sich noch weiter auf.Das Ggl.vestibulare unterteilt sich in eine Pars superior und eine Pars inferior.Erstere erreicht die Ampullen des horizontalen und des vorderen vertikalen Bogengangs sowie die Macula utriculi und Teile der Macula sacculi.Die Ampulle des hinteren vertikalen Bogengangs und die weiteren Anteile der Macula sacculi werden über die Pars inferior erreicht. (Abb.1) Die Bogengänge, der Utriculus und der Sacculus enthalten Endolymphe,die bei Drehbeschleunigungen die Cupula der Bogengänge auslenken kann und damit Reize auslöst.

In den Ampullen liegen,wie oben erwähnt,die Sinneszellen, Haarzellen genannt.Man unterscheidet zwei Zelltypen,die beide mit ca. 6o Stereozilien und einer etwas längeren Kinozilie versehen sind.Die Anordnung der Haarzellen ist nach einer Richtung orientiert (z.B. alle Kinozilien weisen in den horizontalen Bogengängen in utriculopetale Richtung).Durch Ablenkung der Stereozilien in Richtung der Kinozilie entsteht ein positiver Reiz,bei umgedrehter Auslenkung ein negativer Reiz.

Im horizontalen System entspricht also eine utriculopetale Auslenkung der Cupula einer Aktivierung,eine utriculofugale Auslenkung einer Hemmung der zugehörigen Nervenfaser,die schon in Ruhe eine bestimmte Entladungsfrequenz besitzt. (EWALD) Genau umgekehrtes Verhalten zeigen die vertikalen Bogengänge.

Der adäquate Reiz für das Bogengangsystem ist die Winkelbeschleunigung (=Drehbeschleunigung),es reagiert nicht auf Translations (=Linear)beschleunigung.
Der adäquate Reiz für das Maculasystem ist die Translationsbeschleunigung,es reagiert nicht auf Winkelbeschleunigungen.
Die Funktion des Bogengangsystems kann man prüfen,indem man einen Reiz,d.h. eine Endolymphströmung erzeugt.Das ist durch Rotationsversuche oder durch kalorische Prüfung möglich,als deren Folge Augenbewegungen,sog.Nystagmen,auftreten.
Nystagmen sind vestibulär,optokinetisch oder zentral auslösbar.Die Augenbewegung verläuft während der Drehung in Gegendrehrichtung;es wird gewissermaßen die ursprüngliche Blickrichtung beibehalten.Kurz bevor der Maximalausschlag erreicht ist,findet eine schnelle Rückstellbewegung statt, wonach wieder die langsamere Bewegung in Gegendrehrichtung folgt.
Die Nystagmusrichtung wird nach der schnellen Komponente benannt(rechts/links;oben/unten;einwärts/auswärts)und auf die Horizontalebene (=Horizontalnystagmus) oder die Vertikalebene (=Vertikalnystagmus) oder auf beide gleichzeitig (=Rotatorischer Nystagmus)bezogen.Ferner unterscheidet man perrotatorischen,postrotatorischen und kalorischen Nystagmus.Letzterer wird durch Spülung des Gehörgangs mit unterschiedlich temperiertem Wasser ausgelöst.
Liegt bei der Rotationsprüfung der zu prüfende Bogengang genau in der Drehebene,so entsteht während der Drehung eine Trägheitsströmung der Endolymphe in Drehrichtung und als Folge eine Cupulaauslenkung.

Die Trägheitsströmung entsteht sowohl beim Andrehen - die Endolymphe bleibt zunächst zurück - als auch beim Stop - die Endolymphe dreht zunächst noch weiter.
Dieses genaue Einstellen der Bogengänge in die Drehebene entspricht der Optimumstellung in Unterscheidung zur Pessimumstellung,in der der Bogengang senkrecht zur Drehebene steht und keine Cupulaauslenkung stattfindet.
Je nach Drehrichtung entstehen im rechten und linken horizontalen Bogengang entgegengesetzte,d.h. utriculopetale bzw. utriculofugale Endolymphströmungen.Der afferente Nerv der einen Seite wird also in seiner Aktivität gefördert,der andersseitige gehemmt.Diese Informationen werden zentral miteinander verrechnet und lösen einen Nystagmus aus.Durch Förderung der einen Seite wird die gleiche Nystagmusschlagrichtung ausgelöst wie durch Hemmung der anderen Seite.
Für die horizontalen Bogengänge ergeben sich folgende Zusammenhänge:

uf = utriculofugale Endolymphströmung

up = utriculopetale Endolymphströmung

Rechtsdrehen	re horiz.B.	li horiz.B.
Andrehen	up	uf
Stop	uf	up
Linksdrehen		
Andrehen	uf	up
Stop	up	uf

Hieraus und aus weiter oben genannten Gründen ergeben sich bei Drehung in der Horizontalebene ein perrotatorischer

Horizontalnystagmus in Drehrichtung und ein postrotatorischer in Gegendrehrichtung.

Die Prüfung des Horizontalnystagmus geht auf BARANY (19o6) zurück und gehört heute zur klinischen Routineuntersuchung des Funktionsgleichgewichtes des Vestibularapparates.

Bei der kalorischen Prüfung des horizontalen Systems muß der horizontale Bogengang senkrecht gestellt werden.Dies erreicht man durch Kopfrücklage um 6o°.Spülen mit 44° C Wasser löst dann eine utriculopetale Konvektionsströmung aus.Die Folge sind analoge Reizauswirkungen wie sie bei den Rotationsprüfungen bereits erläutert wurden.Der horizontale Bogengang liegt dem äußeren Gehörgang am nächsten, er reagiert daher auf die Spülung am stärksten.

Ausgehend von der Tatsache,daß im afferenten Bogengangsnerv bereits in Ruhe eine Impulsfrequenz vorliegt,die zentral gegeneinander verrechnet wird,wird verständlich, weshalb bei akutem Labyrinthausfall Spontannystagmus zur gesunden Seite auftritt.Zum Vergleich wurde von einigen Autoren die Funktion des Pferdezügels herangezogen,die die Ausfallserscheinung ("Zügelriß") verdeutlicht. (BARANY; MEYER zum GOTTESBERGE/MAURER)

III Untersuchungsmethode

Die Untersuchung umfaßte die Prüfung des Spontannystagmus, Rotationsprüfungen und die kalorische Prüfung.

1. Spontannystagmus

Wir prüften den Spontannystagmus

a) durch Lagerung (Rückenlage,Seitenlage rechts/links) und nach Kopfschütteln.Mit Hilfe der Frenzelbrille beobachteten wir die Augenbewegungen.Der Raum war hierzu abgedunkelt.

b) durch ENG-Aufzeichnung mit Horizontalableitung. Der Patient wurde aufgefordert,im dunklen Raum 45 sek. zwanglos geradeaus zu blicken.Der Kopf war 3o° nach vorn gebeugt.

2. Rotationsprüfungen

Bei allen Rotationsprüfungen waren folgende Prüfbedingungen gleich:

Der Untersuchungsraum war total abgedunkelt.Die Beschleunigung des Drehstuhles (TÖNNIES TS 2) betrug o,8 Winkel°/sek, bis die Endgeschwindigkeit von 9o Winkel°/sek erreicht war. Diese Geschwindigkeit wurde über 45 sek. konstant gehalten,dann folgte der Stop,und der postrotatorische Nystagmus wurde mit ENG aufgezeichnet. (Typ: TÖNNIES 3-Kanalschreiber AC)

Während der Beschleunigungsphase waren die Augen des Patienten geschlossen;sie wurden 2 sek. vor dem Stop geöffnet und während der folgenden Aufzeichnung zwanglos offen gehalten.Zwischen den Drehungen waren Pausen von 1o Min. eingeschaltet,in denen darauf geachtet wurde,die geistige Aktivität des Probanden aufrecht zu erhalten,

um Habituation zu vermeiden(KORNHUBER).Die Elektroden waren auf mit Alkohol entfettete Hautpartien aufgebracht; zusätzlich wurde Kontaktpaste verwendet.Die Papiergeschwindigkeit betrug 5mm/sek.Vor Beginn und am Ende der Versuche nahmen wir eine Blickwinkeleichung vor.
Bei den rotatorischen Prüfungen leiteten wir sowohl horizontal (bitemporal) als auch vertikal (rechtes Auge) ab. (s.Abb.2 und Abb.3)

a) Horizontalableitung zur Aufzeichnung des Horizontalnystagmus. Der Kopf des Patienten war hierzu 3o° nach vorn gebeugt, wodurch der horizontale Bogengang in Optimumstellung zur Drehebene steht.Es wurde eine Rechts-und eine Linksdrehung durchgeführt und der postrotatorische Nystagmus aufgezeichnet.

b) Vertikalableitungen zur Darstellung des Vertikalnystagmus. Die Kopfbeugung des Patienten war hierbei 6o° nach hinten bei gleichzeitiger Kopfdrehung um 45° nach rechts oder links.Nach den anatomischen Gegebenheiten des Labyrintheinbaus in den Schädel liegen dann Optimum- und Pessimumstellung von je 2 vertikalen Bogengängen vor:

	Optimumstellung	Pessimumstellung
Kopfdrehung re 45°	re vord.B.	li vord.B.
	li hint.B.	re hint.B.
Kopfdrehung li 45°	li vord.B.	re vord.B.
	re hint.B,	li hint.B.

Wir führten wiederum Rechts- und Linksdrehung durch, womit sich 4 Drehvarianten ergeben:

Rechtsdrehung Kopf rechts
Rechtsdrehung Kopf links
Linksdrehung Kopf rechts
Linksdrehung Kopf links

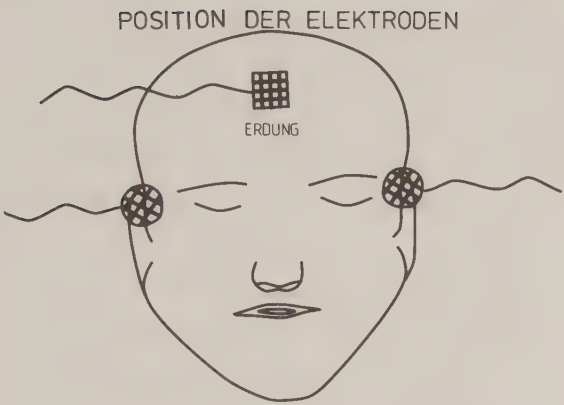


Abb.2 Darstellung der Elektrodenlage bei der bitemporalen horizontalen Ableitung.

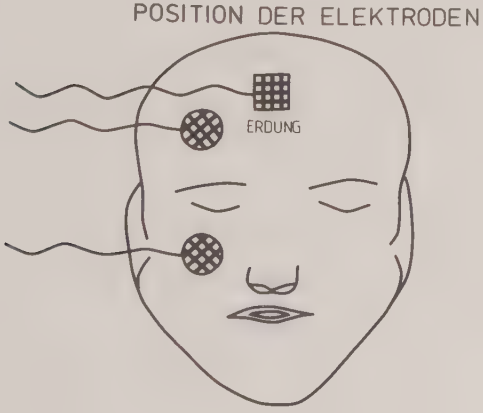


Abb.3 Darstellung der Elektrodenlage bei der vertikalen Ableitung am rechten Auge.

3. Kalorische Prüfung

Die Untersuchung wurde im abgedunkelten Raum durchgeführt.Die kalorische Prüfung dient dem Nachweis der Erregbarkeit bzw. Nichterregbarkeit des durch Neurektomie ausgeschalteten Labyrinths und zur Vergleichserhebung zwischen rechts und links.

Die Reizung wurde mit Wasser oder Luft durchgeführt. Bei der Warmprüfung spülten wir mit 44° C Wasser für 3o sek.,bei der Kaltprüfung mit 3o° C Wasser ebenfalls für 3o sek.Die Luftreizung wurde nur in Ausnahmefällen (z.B. bei Trommelfelldefekten,Tympanoplastiken ...) ausgeführt;hierbei war die Reizzeit 45 sek. bei 3o° C bzw. 44° C Lufttemperatur.Der Patient wurde mit 6o° rückwärtiger Kopfbeugung gelagert.Nach Spülende zeichnete das ENG-Gerät über Horizontalableitung die Augenbewegungen auf.

Bei der Auswertung wurde bei den Vertikalaufzeichnungen und den Horizontalaufzeichnungen die Nystagmusdauer zugrunde gelegt.Bei den kalorischen Prüfungen kam es uns zunächst auf den qualitativen Erregbarkeitsnachweis an. Zusätzlich bestimmten wir bei den positiven Fällen die Nystagmusrichtung und die Frequenz auf der Op-Seite bzw. Nicht-Op-Seite und stellten über die Gesamtamplitude einen Rechts-Linksvergleich her.

IV Untersuchungs(Patienten)gut

In den Jahren 197o bis 1977 wurden an der Universität Düsseldorf 27 Patienten mit M.Menière durch die Methode der einseitigen transtemporalen Neurektomie des Nervus vestibularis operiert.Weiterhin wurden uns vom Dominikus Krankenhaus in Düsseldorf-Heerdt aus einer größeren Zahl solcherart operierter Patienten zusätzlich 14 Fälle benannt.

Von diesen insgesamt 41 Patienten konnten wir 8 weibliche und 7 männliche Personen nachuntersuchen.Das Durchschnittsalter dieser nachuntersuchten Patienten lag bei 5o,5 Jahren,der Zeitraum zwischen der Operation und der Nachuntersuchung bewegte sich zwischen 2 und 8 Jahren, durchschnittlich 5,3 Jahre.Bei 5 dieser nachuntersuchten Patienten war der hintere vertikale Bogengang nach der Operation weiterhin funktionsfähig.

V Ergebnisse

1. Spontannystagmus (Horizontalableitung;s.Abb.2)

   Von 15 nachuntersuchten Patienten zeigten 9 Patienten einen Spontannystagmus,8 zur gesunden Seite,einer zur kranken Seite.

   Bei den 5 Neurektomierten,die postoperativ weiterhin einen intakten hinteren vertikalen Bogengang auf der Op-Seite besaßen,stellten wir bei vieren einen Spontannystagmus fest.

   Die Schlagrichtung wies in 2 Fällen zur gesunden Seite, in den beiden anderen Fällen zur kranken Seite.

   Die Schlagfrequenz schwankte zwischen 8 und 48 Schlägen/Min.

   Bei einigen Patienten konnte der Spontannystagmus nur durch das ENG nachgewiesen werden,unter der Frenzelbrille blieb er unerkannt.

2. Rotationsprüfungen

a) Vertikalableitungen

Bei neurektomierten Patienten sollte der gesamte Vestibularapparat einer Seite ausgeschaltet sein. (Abb.4) Wie bereits in Kapitel II erwähnt,besitzt der hintere vertikale Bogengang eine separate nervöse Versorgung.Es gibt nunmehr Fälle,in denen die Neurektomie bezüglich dieses hinteren vertikalen Bogengangs unvollständig war -nachweisbar durch die kalorische Prüfung der Op-Seite mit vorhandener Erregbarkeit- (s.Abb.4c).

In 5 von 15 nachuntersuchten Fällen lag eine solche inkomplette Neurektomie vor.Es war somit möglich

1. bei den vollständig Neurektomierten
   a) den hinteren vertikalen Bogengang der Nicht-Op-Seite isoliert zu reizen,
   b) den vorderen vertikalen Bogengang der Nicht-Op-Seite isoliert zu reizen.
2. bei unvollständig Neurektomierten
   a) den hinteren vertikalen Bogengang der Nicht-Op-Seite isoliert zu reizen,
   b) den vorderen vertikalen Bogengang der Nicht-Op-Seite in Kombination mit dem hinteren vertikalen Bogengang der Op-Seite zu reizen.

Die auf Seite 1o aufgeführten 4 Drehvarianten lösen unterschiedliche Erregungen in den vertikalen Bogengängen aus,wobei zudem die Operationsseite zu beachten ist.

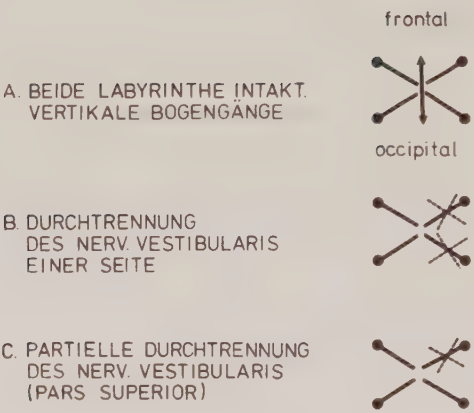


Abb.4 Schematische Darstellung des vertikalen Bogengangsystems.

a) beidseitig intaktes (normales) vertikales Bogengangsystem

b) Totalneurektomie des Nervus vestibularis einer Seite

c) Teilneurektomie des Nervus vestibularis einer Seite

Bei den rechts operierten Patienten führt die Rechtsdrehung mit Kopfhaltung rechts zu gleichen Reizwirkungen wie die Linksdrehung eines links operierten mit Kopfhaltung links.

Es ergeben sich somit folgende Drehanaloga bezüglich rechtsseitiger oder linksseitiger Neurektomie:

	rechts operierte Pat.		links operierte Pat.
(1)	Drehen rechts/Kopf rechts	=	Drehen links/Kopf links
(2)	Drehen links/Kopf rechts	=	Drehen rechts/Kopf links
(3)	Drehen links/Kopf links	=	Drehen rechts/Kopf rechts
(4)	Drehen rechts/Kopf links	=	Drehen links/Kopf rechts

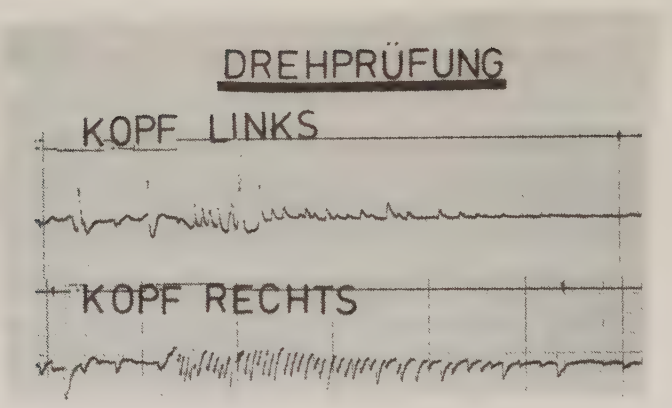
Analoge Drehwirkungen lösen analoge Reizwirkungen auf bestimmte vertikale Bogengänge aus.Obige Tabelle erweitert sich dann wie folgt:

(1) entspricht einer Hemmung des hinteren vertikalen Bogengangs der Nicht-Op-Seite.

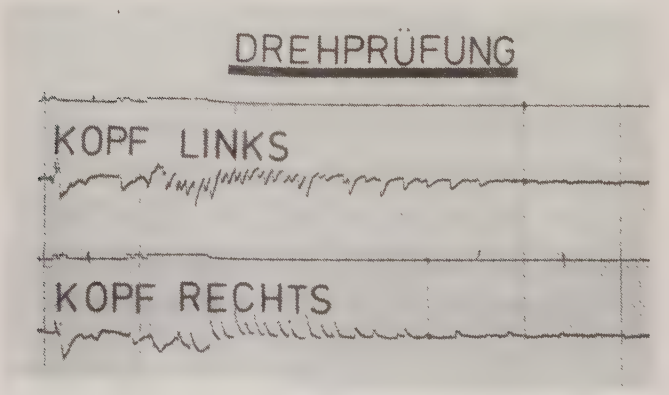
(2) entspricht einer Aktivierung des hinteren vertikalen Bogengangs der Nicht-Op-Seite.

(3) entspricht einer Aktivierung des vorderen vertikalen Bogengangs der Nicht-Op-Seite bei gleichzeitiger Hemmung eines noch intakten hinteren vertikalen Bogengangs der Op-Seite.

(4) entspricht einer Hemmung des vorderen vertikalen Bogengangs der Nicht-Op-Seite bei gleichzeitiger Aktivierung eines noch intakten hinteren vertikalen Bogengangs der Op-Seite.



Originalregistrierung von Vertikalnystagmen bei teil-neurektomierten Patienten auf der linken Seite.Es wurde nach rechts gedreht.
oben: siehe Tab.1,Spalte D unten: siehe Tab.1,Spalte B



Originalregistrierung von Vertikalnystagmen bei teil-neurektomierten Patienten auf der linken Seite.Es wurde nach links gedreht.
oben: siehe Tab.1,Spalte E unten: siehe Tab.1,Spalte C

Tabelle 1 Dauer des Nystagmus bei Drehprüfungen mit Vertikalableitung (t in sek)
Frequenz des Spontannystagmus (Schläge/Min)

a) Patienten mit intaktem hinteren vertikalen Bogengang auf der Op-Seite

	A	B ↓	C ↑	D ↑	E ↓
1.M.D.	← 1o	18,o	13,6	12,6	12,o
2.M.H.	→ 8	15,o	12,8	11,o	13,6
3.M.G.	-	6,4	6,o	6,o	4,o
4.B.F.	→ 18	12,6	13,8	9,8	6,2
5.K.C.	← 44	17,5	13,6	9,0	8,o
	$\bar{f}$ = 2o,o	$\bar{t}$ =13,9	12,o	9,7	8,8
	$\bar{\sigma}$ = 16,6	4,7	3,4	2,5	4,o

Spalte A = Spontannystagmus

Spalte B = Aktivierung des vorderen vertikalen Bogengangs der Nicht-Op-Seite bei gleichzeitiger Hemmung des hinteren vertikalen Bogengangs der Op-Seite.

Spalte C = Hemmung des vorderen vertikalen Bogengangs der Nicht-Op-Seite bei gleichzeitiger Aktivierung des hinteren vertikalen Bogengangs der Op-Seite.

Spalte D = Aktivierung des hinteren vertikalen Bogengangs der Nicht-Op-Seite

Spalte E = Hemmung des hinteren vertikalen Bogengangs der Nicht-Op-Seite

↑ Nystagmusrichtung stirnwärts

↓ Nystagmusrichtung kinnwärts

← → Nystagmusrichtung links,rechts

Fortsetzung Tabelle 1

b) Patienten mit lediglich einem intakten Bogengangsystem; der N.vestibularis ist einseitig total durchtrennt.

	A	B ↓	C ↑	D ↓	E ↑
1.S.J.	→ 48	14,o	8,4	6,4	1o,o
2.L.G.	-	17,o	3,6	4,4	15,o
3.L.K.	→ 26	7,8	6,6	5,o	2,8
4.H.M.	→ 28	1o,4	6,4	4,4	14,8
5.S.H.	-	6,4	5,4	7,6	1o,6
6.K.G.	-	1o,o	7,5	12,2	12,5
7.K.B.	← 12	13,o	16,2	14,o	13,o
8.R.	-	1o,2	9,5	12,2	1o,6
9.B.E.	-	12,o	6,4	1,8	1,4
1o.P.K.	-	7,o	2,4	8,2	5,8
	$\bar{f}$ =28,5	$\bar{t}$=1o,8	7,2	7,6	9,7
	$\bar{o}$ =14,8	3,3	3,8	4,o	4,8

Spalte A = Spontannystagmus

Spalte B = Aktivierung des vorderen vertikalen Bogengangs der Nicht-Op-Seite

Spalte C = Hemmung des vorderen vertikalen Bogengangs der Nicht-Op-Seite

Spalte D = siehe Tab.1a,Spalte D

Spalte E = siehe Tab.1a,Spalte E

= siehe Tab.1a

Bei der isolierten Hemmung des hinteren vertikalen Bogengangs der Nicht-Op-Seite betrug die Nystagmusdauer bei den Totalneurektomierten (Tab.1b,Spalte E) im Durchschnitt $\bar{t}$ = 9,7 sek,bei den Teilneurektomierten (Tab.1a,Spalte E) $\bar{t}$ = 8,8 sek entsprechend 9o,7 %.

Die einseitig vollständig Neurektomierten reagierten auf den fördernden Reiz des hinteren vertikalen Bogengangs der Nicht-Op-Seite mit einer durchschnittlichen Nystagmusdauer von $\bar{t}$ = 7,6 sek (Tab.1b,Spalte D);der Vergleichswert bei der unvollständig neurektomierten Gruppe (Tab.1a,Spalte D) war $\bar{t}$ = 9,7 sek,entsprechend 127,6 %.

Die Förderung des vorderen vertikalen Bogengangs der Nicht-Op-Seite erzeugte einen Nystagmus von $\bar{t}$ = 1o,8 sek bei den Totalneurektomierten (Tab.1b,Spalte B),bei den Teilneurektomierten (Tab.1a,Spalte B),bei denen noch zusätzlich der hintere vertikale Bogengang der Op-Seite gehemmt wurde,eine Nystagmusdauer von $\bar{t}$ = 13,9 sek, entsprechend 128,7 %.

Bei umgekehrter Drehrichtung,welche eine Hemmung des vorderen vertikalen Bogengangs der Nicht-Op-Seite hervorruft,stellten wir eine Nystagmusdauer von $\bar{t}$ =7,2 sek bei der Totalneurektomiegruppe (Tab.1b,Spalte C) fest,bei der Vergleichsgruppe (Tab.1a,Spalte C) eine durchschnittliche Dauer von $\bar{t}$ = 12,o sek,entsprechend 166,6 %.

Die Nystagmusrichtungen waren bei den einzelnen Drehungen

- kinnwärts bei den Versuchen B,E
- stirnwärts bei den Versuchen C,D (siehe Tab.1)

Vergleicht man innerhalb der beiden Gruppen die Wirkung des Aktivierungs- und des Hemmungsreizes in Optimumstellung für die einzelnen Bogengänge,so ergeben sich in der Gruppe der einseitig Totalneurektomierten für die isolierte Reizung des hinteren vertikalen Bogengangs der Nicht-Op-Seite Nystagmuszeiten von $\bar{t}_A$ = 7,6 sek und $\bar{t}_H$ = 9,7 sek (= 127,6 %);für die isolierte Reizung des vorderen vertikalen Bogengangs der Nicht-Op-Seite Nystagmuszeiten von $\bar{t}_A$ = 1o,8 sek und $\bar{t}_H$ = 7,2 sek (= 66,6 %).

$\bar{t}_A$ = durchschnittliche Nystagmusdauer bei Aktivierung
$\bar{t}_H$ = durchschnittliche Nystagmusdauer bei Hemmung

Entsprechende Werte für die einseitig Teilneurektomierten betragen für die isolierte Reizung des hinteren vertikalen Bogengangs der Nicht-Op-Seite $\bar{t}_A$ = 9,7 sek und $\bar{t}_H$ = 8,7 sek (= 89,7 %),bei der Reizung des vorderen vertikalen Bogengangs der Nicht-Op-Seite in Kombination mit dem intakten hinteren vertikalen Bogengang der Op-Seite

$\bar{t}_{A,vorne} + \bar{t}_{H,hinten}$ = 13,9 sek,
$\bar{t}_{H,vorne} + \bar{t}_{A,hinten}$ = 12,o sek (= 86,3 %).

b) Horizontalableitungen

Bei der Rotationsprüfung des horizontalen Bogengangs der Nicht-Op-Seite maßen wir nach der Drehung,die einer Verstärkung des Ruhetonus im N.vestibularis entspricht,(Linksdrehung bei Linksoperierten,Rechtsdrehung bei Rechtsoperierten) durchschnittliche Nystagmuszeiten von $\bar{t}$ = 2o,o sek bei den einseitig vollständig neurektomierten Patienten (Tab.2b,Spalte F), bei der Vergleichsgruppe (Tab.2a,Spalte F) Zeiten von $\bar{t}$ = 28,8 sek (= 144 %).

Die entsprechenden Werte für die jeweils umgekehrte Drehung mit der Folge einer Hemmung des Ruhetonus liegen für die Totalneurektomierten bei $\bar{t}$ = 11,8 sek (Tab.2b,Spalte G),in der Vergleichsgruppe (Tab.2a, Spalte G) bei $\bar{t}$ = 13,6 sek (= 115,3 %).

Die Schlagrichtung des postrotatorischen Nystagmus wies bei diesen Versuchen immer in Gegendrehrichtung.

Beim Vergleich der Wirkung des fördernden und des hemmenden Reizes innerhalb der beiden Gruppen ergab sich ein Übergewicht des fördernden Reizes.Dies zeigte sich in einer verlängerten Nystagmusdauer bei der Gruppe der einseitig Totalneurektomierten um 111,8 %,bei der anderen Gruppe um 69,5 %.

Tabelle 2 Dauer des Horizontalnystagmus (t in sek)
Kalorischer Nystagmus (Schläge/Min)
Spontannystagmus (Schläge/Min)

a) Patienten mit intaktem hinteren vertikalen Bogengang auf der Op-Seite

		A	B	C	D	E	F	G
			→	←	←	→	←	→
li Op	1.M.D.	← 1o	88	6o	116	11o	25	22
	2.M.E.	→ 8	38	66	74	34	22	24
	3.M.G.	-	28	76	72	13o	4	7
	4.B.F.	→ 18	38	36	84	164	53	7
re Op	5.K.C.	← 44	7o	6o	14o	8o	4o	8
			$\bar{f}$=52,4	59,5	97,2	1o3,6	$\bar{t}$= 28,8	13,7
			$\bar{\sigma}$=25,4	14,7	29,7	49,4	18,5	8,5

Spalte A = Spontannystagmus (Schläge/Min)

Spalte B = Kaltspülung der Op-Seite (Schläge/Min)

Spalte C = Warmspülung der Op-Seite (Schläge/Min)

Spalte D = Kaltspülung der Nicht-Op-Seite (Schläge/Min)

Spalte E = Warmspülung der Nicht-Op-Seite (Schläge/Min)

Spalte F = Aktivierung des horizontalen Bogengangs der gesunden Seite in Optimumstellung (t in sek)

Spalte G = Hemmung des horizontalen Bogengangs der gesunden Seite in Optimumstellung (t in sek)

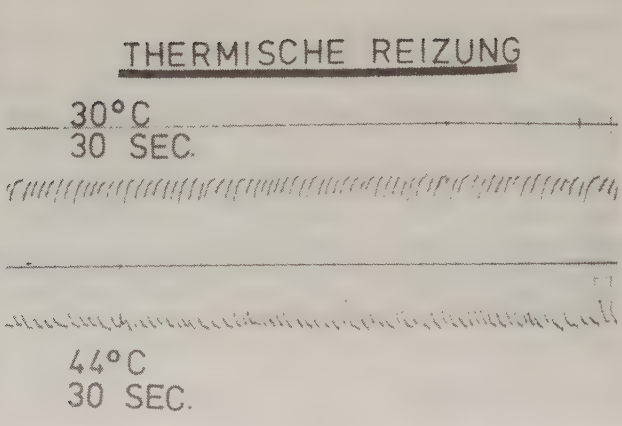
← = Nystagmusrichtung nach links

→ = Nystagmusrichtung nach rechts

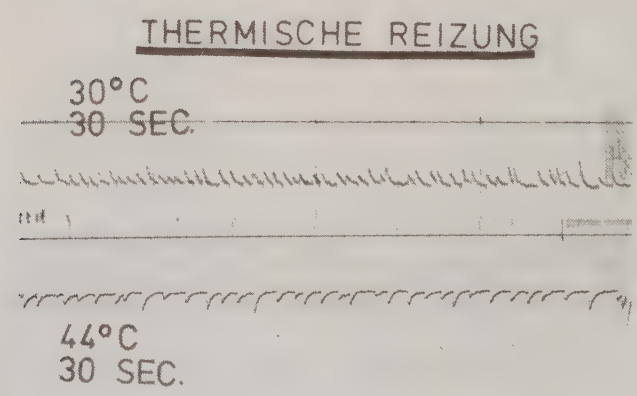
Fortsetzung Tabelle 2

b) Patienten mit lediglich einem intakten Bogengangsystem, der N.vestibularis ist einseitig total durchtrennt.

		A	B	C	D	E	F	G
							←	→
li Op	1.S.J.	→ 48	-	-	→ 42	→ 78	15,o	16,o
	2.L.G.	-	-	-	← 92	→ 132	22,o	9,o
	3.L.K.	→ 26	-	-	← 1o4	→ 158	24,6	1o,o
	4.H.M.	→ 28	-	-	← 76	→ 1o4	27,5	6,6
	5.S.H.	-	-	-	← 44	→ 140	16,4	8,8
re Op	6.K.G.	-	-	-	→ 72	← 138	13,o	12,o
	7.K.B.	→ 12	-	-	→ 84	← 112	26,o	3o,o
	8.R.H.	-	-	-	→ 68	← 13o	21,o	13,o
	9.B.E.	-	-	-	→ 78	← 144	17,3	5,6
	1o.P.K.	-	-	-	→ 12o	← 144	16,8	7,o
		$\bar{S}$ = 28,5		$\bar{S}$ = 78,o	128	$\bar{t}$ = 2o,o		11,8
		$\bar{\sigma}$ = 14,8		$\bar{\sigma}$ = 24,2	23,6	5,o		7,1



Originalregistrierung eines kalorischen Nystagmus bei einem teilneurektomierten Patienten nach Spülung der gesunden Seite. (hier rechte Seite)



Originalregistrierung eines kalorischen Nystagmus bei einem teilneurektomierten Patienten nach Spülung der kranken Seite. (hier linke Seite)

3. Kalorische Prüfung

Bei der kalorischen Prüfung interessierte besonders der Personenkreis mit intaktem hinteren vertikalen Bogengang auf der Op-Seite.

Bei 5 von 15 Patienten konnte der Erregbarkeitsnachweis auf der operierten Seite geführt werden. Die Kaltspülung der Op-Seite erzeugte Nystagmen zur Gegenseite mit Schlagfrequenzen zwischen 28 und 88 Schlägen/Min., der Mittelwert betrug $\bar{f}$ = 52,4 (s.Tab.2a).

Die Warmspülung der Op-Seite rief bei 4 Patienten einen Nystagmus zur Spülseite hervor mit Frequenzen zwischen 36 und 76 Schlägen/Min, im Mittel $\bar{f}$ = 59,5; ein Patient reagierte mit Nystagmus zur Gegenseite ($\bar{f}$=6o/Min).

Auf der gesunden Seite ergaben sich insgesamt höhere Frequenzen: bei der Kaltspülung im Mittel $\bar{f}$ =97,2/Min mit einem Intervall von 72 bis 14o/Min, bei der Warmspülung durchschnittlich $\bar{f}$ = 1o3,6/Min und einem Intervall von 34 bis 18o/Min.

Wir verglichen weiterhin die Reizwirkung zwischen operierter und nicht operierter Seite mit Hilfe der Gesamtamplitude. Die Gesamtamplitude wurde errechnet, indem innerhalb eines Kulminationsintervalls von 3o sek alle Amplituden der langsamen Komponente addiert wurden. Diese stellten wir nach der Jongkeesformel $\frac{l_1 - l_2}{l_1 + l_2} \times 1oo$ gegenüber und erhielten so eine erhöhte Erregbarkeit der gesunden Seite von durchschnittlich 36 % bezogen auf die Gesamtamplitude. (s.Tab.3)

l_1 = Summe aller Längen der langsamen Komponente (Nicht-Op-Seite)

l_2 = Summe aller Längen der langsamen Komponente (Op-Seite)

Tabelle 3 Gesamtamplitude bei Spülung der Nicht-Op-Seite und Op-Seite (hinterer vertikaler Bogengang intakt)
l in mm/3o sek

	l_1 = Nicht-Op-Seite	l_2 = Op-Seite	% $\frac{l_1 - l_2}{l_1 + l_2}$ x1oo
1. M.D.	3o5	155	32,6
2.M.H.	97	48	33,7
3.M.G.	171	89	31,5
4.B.F.	1oo	33	5o,3
5.K.C.	172	89	31,8
	$\bar{l}$ = 169,o	82,8	36,o
	$\bar{\sigma}$ = 84,3	47,3	8,1

VI Diskussion

Nach einseitigem Labyrinthausfall tritt üblicherweise ein Spontannystagmus zur gesunden Seite auf (funktionelles Ungleichgewicht).Dies leuchtet ein,wenn man sich die Funktionsweise der Vestibularapparate klar macht,die auf einem zentralen Tonusvergleich des rechten und linken N.vestibularis basiert. (s.Kap.II)

Nach einer Latenzzeit tritt in der Folge eine zentral bedingte Ausgleichsreaktion (ausgeglichen werden die Tonusdifferenzen) auf,die sog. "zentrale Kompensation".

Individuell unterschiedlich erscheint dieses Phänomen nach Wochen bis Jahren (3;10).Der Grad der Kompensation kann dabei erheblich schwanken.Dies sind die Gründe für die unterschiedlichen Angaben der Patienten über Schwindel,Nausea und Brechreiz.Spontannystagmus kann permanent,latent oder nur bei Prüfungen des Vestibularapparates vorhanden sein;letzteres wird auch Neigung zum Richtungsüberwiegen genannt.

Nach einseitigem akuten Labyrinthausfall tritt nie vertikaler Nystagmus auf (11),andere Autoren erwarten einen rotatorischen Nystagmus (1o).

Nach FRENZEL gibt es bei Normalpersonen keinen Spontannystagmus (in 11).Er faßt jeden vorhandenen Spontannystagmus als Restbefund einer vormals erlittenen Vestibularisstörung auf.

Andere Autoren (3) haben bei Normalpersonen über die ENG-Aufzeichnung viermal häufiger als durch die direkte Beobachtung einen Spontannystagmus gefunden.

Als pathologisch werden von ihnen jedoch erst Nystagmen mit einer Winkelgeschwindigkeit größer 6°/sek,oder bei Nachweisbarkeit in mindestens zwei Lagen angesehen.
Bei unseren Untersuchungen fanden wir bei 8 von 15 Patienten noch einen Spontannystagmus.Davon war die Schlagrichtung in 7 Fällen zur gesunden Seite,in einem Fall zur kranken Seite.
Betrachtet man die Gruppen einzeln,so fanden sich bei den einseitig Totalneurektomierten 4 (von 1o),bei den einseitig Teilneurektomierten 4 (von 5) Patienten mit Spontannystagmus.
Die kalorische Prüfung der Operationsseite ermöglichte uns,die Versuchspersonen in zwei Vergleichsgruppen aufzuteilen.Die 1.Gruppe,bestehend aus 1o Personen,besaß nur noch das vollständig intakte Bogengangsystem der gesunden Seite,die Vergleichsgruppe (5 Personen) wies zusätzlich noch auf der operierten Seite einen intakten hinteren vertikalen Bogengang auf.
Aufgrund der beschriebenen Drehprüfungen,kombiniert mit wechselnden Ableitverfahren,können nun Rückschlüsse auf die Funktionsmechanismen,meßbar über die Nystagmusaufzeichnung,gezogen werden.
Bei Vertikalableitungen bestehen Fehlerquellen darin,daß Potentiale des M.orbicularis oculi bei Lidöffnungs- und Lidschließbewegungen sowie beim Zwinkern aufgezeichnet werden (9).Dies ist bedingt durch die Lage der Elektroden. Die Potentialausschläge sind aber erheblich größer und frequenter als die des Nystagmus und daher gut zu erkennen.

Durch vorheriges Aufklären des Patienten über diese Fehlerquelle und geringes Training konnte diese Störung weitestgehend ausgeschaltet werden.Da wir beim Vertikalnystagmus ohnehin nur die Dauer bestimmten,war die Einwirkung gering.

Weiterhin können EEG-Potentiale aufgezeichnet werden,die wiederum an der Frequenz zu erkennen sind (α = 8-13/Min) oder am Fehlen rascher und langsamer Komponenten.

Die horizontale Ableitung (s.Abb.2) ist durch o.g.Fehlerquellen nicht belastet.

Über die Funktion des vertikalen Bogengangsystems wissen wir bis heute wenig.Gesichert sind vor allem die drei EWALDschen Gestze,die die ampullopetale Strömung im horizontalen System als die wirksamere gegenüber der ampullofugalen Strömung kennzeichnen,weiterhin die Erkenntnis festhalten,daß im vertikalen System ein umgekehrtes Verhalten vorliegt,und drittens aussagen,daß der wirksamere Reiz immer einen Nystagmus zur Reizseite hervorruft.

Ebenfalls steht fest,daß jeder Bogengang nur in seiner Ebene Nystagmen auslösen kann. (Flourens Gesetz)

OHM,WITTMAACK u.a. vertraten die Theorie des Zusammenwirkens von gekreuzt parallelen vertikalen Bogengängen (in Anlehnung an Kaninchenversuche von ROTHEFELD);OHM beschrieb gleichzeitig noch genaue anatomische Verbindungen zwischen Ampullen und Augenmuskeln,die über ein zwischengeschaltetes zentrales Koordinationszentrum verbunden sein sollten.

THORNVAL folgerte logischerweise,daß bei entsprechenden Drehungen in zwei von drei Hauptebenen (frontal,sagittal)

alle vier Bogengänge gleichzeitig gereizt würden und der entstehende Nystagmus eine Resultante der Nystagmen aller vier Bogengänge sei. (12)

SCHILLINGS führte bereits 1919 Versuche am Menschen durch und war zu dem Resultat gekommen,daß der vordere vertikale Bogengang den rotatorischen Nystagmus,der hintere vertikale Bogengang den vertikalen Nystagmus hervorriefe.Gleichzeitig stellte er fest,daß nicht die Drehung in Optimumstellung der einzelnen vertikalen Bogengänge bzw. Bogengangspaare die maximale Reaktion hervorriefe,sondern die Drehung in den schon erwähnten Hauptebenen.Dabei legte er die von SCHÖNEMANN gefundene Labyrinthanatomie zugrunde; dabei bildet der vordere vertikale Bogengang (bei ihm frontaler B. genannt) mit der Frontalebene einen Winkel von 35° - 45°,der hintere vertikale Bogengang (bei ihm sagittaler B. genannt) mit der Sagittalebene einen Winkel von 25° - 45°.Den "Idealfall" mit jeweils 45° hatte Schönemann überhaupt nur einmal gefunden. (1o)

MEYER zum GOTTESBERGE und MAURER stellten 1949 die Theorie auf,daß jeder der vier vertikalen Bogengänge sowohl vertikalen als auch rotatorischen Nystagmus auslösen kann. (Prinzip der funktionellen Identität)

Die beiden vorderen vertikalen Bogengänge sollen danach über ein zentrales Funktionszentrum verschaltet sein (löst vertikalen Nystagmus kinnwärts aus),ebenso die beiden hinteren vertikalen Bogengänge (löst vertikalen Nystagmus stirnwärts aus).Gleiche Verschaltungsmuster gelten jeweils für die beiden rechten und linken Bogengänge.

Die geforderten Funktionszentren erzeugen rotatorischen Nystagmus und zwar das linke Zentrum nach links,das rechte Zentrum nach rechts.

Normalpersonen mit beiderseits intaktem Labyrinth können nicht herangezogen werden,um durch Drehprüfungen einzelne vertikale Bogengänge zu erregen.Bei den uns zur Verfügung stehenden Patienten war dies möglich.Der hintere vertikale Bogengang der Nicht-Op-Seite konnte in beiden untersuchten Gruppen isoliert in Optimumstellung gereizt werden.Bei den einseitig Totalneurektomierten war der vordere vertikale Bogengang isoliert reizbar,bei den einseitig Teilneurektomierten der vordere vertikale Bogengang der Nicht-Op-Seite,sowie gleichzeitig der hintere vertikale Bogengang der Op-Seite.Diese beiden Bogengänge stehen etwa in der gleichen Ebene,sie werden daher gleichzeitig gereizt.Durch den Vergleich dieser Reizantworten können Auskünfte über die Funktion des hinteren vertikalen Bogengangs erhalten werden.

Wenn wir Nystagmen mit Vertikalableitung aufzeichnen, können wir lediglich vertikale Komponenten der Augenbewegung erfassen,also auch vertikale Komponenten von rotatorischen Nystagmen,jedoch keinesfalls horizontale Ausschläge.

Umgekehrt können wir durch eine Horizontalableitung keine vertikalen Komponenten registrieren,sondern nur rein horizontale oder den horizontalen Anteil eines Rotationsnystagmus.Diese Feststellungen werden später nochmals aufgegriffen.

Betrachtet man die Ergebnisse unserer Drehversuche bei Optimumstellung des vorderen vertikalen Bogengangs der gesunden Seite,so ergibt sich bei den einseitig Totalneurektomierten für die Aktivierungsreizung eine um 5o % verlängerte Nystagmusdauer im Vergleich zur Hemmungsreizung.(Tab.1b,Spalten B,C).Bei den einseitig Teilneurektomierten war die Aktivierungsreaktion um 15,8 % verlängert (Tab.1a,Spalten B,C),hier wurde gleichzeitig der hintere vertikale Bogengang miterregt.

Die Gegenüberstellung der Mittelwerte der Drehversuche bei Optimumstellung des hinteren vertikalen Bogengangs der gesunden Seite zeigt für die Teilneurektomierten die gleiche Tendenz: $\bar{t}_A$ ist um 1o,2 % länger als $\bar{t}_H$ (Tab.1a, Spalten D,E),bei den Totalneurektomierten ist jedoch der Hemmungsreiz um 26 % verlängert.

Letzteres widerspricht dem 2.EWALDschen Gesetz,läßt sich aber durch die relativ kleine Zahl der Untersuchten erklären,wodurch sich der Mittelwert bereits durch die extrem große Differenz zwischen Hemm- und Aktivierungsreiz bei nur 2(von 1o) Patienten (Diff: 236% und 24o%) stark verändert.(Tab.1b,SpaltenD,E,Nr.2 und 4)

Die absolut längsten Nystagmuszeiten treten bei der gleichzeitigen Reizung des vorderen vertikalen Bogengangs der Nicht-Op-Seite und des hinteren vertikalen Bogengangs der Op-Seite in Optimumstellung auf.Wenn der vordere Bogengang aktiviert und der hintere Bogengang gehemmt wird,ist die Zeit um 28,7% länger als bei der Gegengruppe ohne intakten hinteren Bogengang;wenn der vordere Bogen-

gang gehemmt,der hintere jedoch gleichzeitig aktiviert wird,ist die Nystagmusreaktion um 66,6% gegenüber der Vergleichsgruppe ohne intakten hinteren Bogengang größer.

Dies läßt den Schluß zu,daß der hintere vertikale Bogengang die Reaktion des vorderen vertikalen Bogengangs der Gegenseite verstärken kann.

Zur weiteren Klärung der Funktion des hinteren vertikalen Bogengangs ist der kalorische Reizversuch von besonderer Bedeutung.Bei diesen Prüfungen wurde horizontal abgeleitet; es konnten folglich keine reinen vertikalen Augenbewegungen registriert werden.

Bei der kalorischen Reizung werden vorwiegend der horizontale Bogengang,aber auch der vordere vertikale Bogengang erreicht,da beide mit ihrem äußeren Schenkel und ihrer Ampulle dem äußeren Gehörgang am nächsten liegen (6); der hintere vertikale Bogengang liegt am weitesten entfernt.

Bei der Patientengruppe mit intaktem hinteren vertikalen Bogengang der Op-Seite konnten wir beide Seiten der kalorischen Prüfung unterziehen.Erwartungsgemäß war die Frequenz der Nystagmen bei Spülung der gesunden Seite erheblich höher.Die Unterschiede betrugen für die Kaltspülung 85,5%,bei der Warmspülung 74,1%.

Da auf der gesunden Seite der horizontale Bogengang in Optimumstellung gereizt wurde,auf der operierten Seite jedoch der wesentlich ungünstiger liegende hintere vertikale Bogengang,ist bereits eine Reaktionsdifferenz zu erwarten.

Weiterhin löst der horizontale Bogengang einen Horizontalnystagmus aus,der hintere vertikale Bogengang entweder vertikalen oder rotatorischen Nystagmus (siehe später); folglich konnte nur seine horizontale Komponente erfaßt werden,die nur einen Teil seiner Intensität wiedergibt.

Aufgrund der ENG-Registrate konnten wir die Schlagrichtung des auf der gesunden Seite ausgelösten Nystagmus erkennen.Bei der Kaltspülung fanden wir einen Nystagmus zur Gegenseite,bei der Warmspülung zur Spülseite.
Da wir vom rechten Auge abgeleitet hatten,muß die Augenbewegung bei der Kaltreizung nach außen,bei der Warmreizung nach innen (einwärts) verlaufen sein.
Wir können daraus folgern,daß die Kaltspülung des hinteren vertikalen Bogengangs eine ampullopetale Endolymphströmung erzeugt.Diese Strömungsrichtung entspräche nach den EWALDschen Gesetzen einer Hemmungsreizung im vertikalen System.
Vergleicht man hierzu die Mittelwerte der Kalt- und Warmspülung der kalorischen Prüfung der Op-Seite (Tab.2a, Spalten B,C),wird die vorgenannte Folgerung gestützt.

Sieht man die Ergebnisse der Drehversuche mit isolierter Reizung des hinteren vertikalen Bogengangs bei Vertikalableitung und die Ergebnisse der Spülprüfung des hinteren vertikalen Bogengangs im Zusammenhang,läßt sich eine weitere Erkenntnis gewinnen.
Der hintere vertikale Bogengang kann weder einen reinen vertikalen Nystagmus hervorrufen,dann wäre kein Nystagmus bei der Horizontalableitung registriert worden,noch kann

er einen reinen horizontalen Nystagmus erzeugen (rein hypothetische Überlegung),dann wäre bei der Vertikalableitung keine Aufzeichnung möglich gewesen.
Der hintere vertikale Bogengang muß demnach einen rotatorischen Nystagmus erzeugen,denn nur dessen Komponenten(horizontal und vertikal) können in beiden Registraten erfaßt sein.
Für den vorderen vertikalen Bogengang ist eine entsprechende Schlußfolgerung nicht möglich;zwar liegt eine identische Drehreizung dieses Bogengangs vor, jedoch war keine Spülprüfung des vorderen vertikalen Bogengangs isoliert möglich.Wir können somit eine horizontale Komponente weder ausschließen noch nachweisen.
Die bereits oben genannte Erkenntnis,daß in unseren Versuchen der hintere vertikale Bogengang die Reaktion des vorderen vertikalen Bogengangs der Gegenseite verstärkt,ist erklärbar durch eine Summation der vertikalen Komponente des durch den vertikalen Bogengang ausgelösten Rotationsnystagmus auf den (reinen ?) vertikalen Anteil des durch den vorderen vertikalen Bogengang erzeugten Nystagmus.

VII Zusammenfassung

Der hintere vertikale Bogengang wird isoliert durch die Pars inferior des N.vestibularis nervös versorgt, während die Pars superior den horizontalen und vorderen vertikalen (frontalen) Bogengang gemeinsam innerviert.

Bei der transtemporalen Neurektomie wird in einigen Fällen nur der obere Anteil des N.vestibularis durchtrennt.In diesen Fällen bleibt das intakte Bogengangsystem über den hinteren vertikalen Bogengang mit dem ZNS verbunden.

Von 41 Patienten,die von 197o -1977 in Düsseldorf einseitig neurektomiert wurden,zeigten 5 eine Durchtrennung des N.vestibularis nur im oberen Anteil.Diese Patienten wurden kalorisch und rotatorisch in verschiedenen Kopfstellungen untersucht und sowohl der vertikale als auch der horizontale Nystagmus simultan registriert.Gleiche Untersuchungen erfolgten zur Kontrolle an den Patienten deren N.vestibularis komplett durchtrennt war.

Die kalorische Reizung des hinteren vertikalen Bogengangs zeigte einen rotatorischen Nystagmus.

Für die Drehprüfung in Optimum- bzw.Pessimumstellung wurde der Synergismus bzw.Antagonismus mit dem vorderen vertikalen Bogengang rechnerisch erstellt und mit dem 2.EWALDschen Gesetz verglichen.

VIII Literaturverzeichnis

(1) BARANY,R.
Physiologie und Pathologie des Bogengangapparates beim Menschen (19o7) Leipzig-Wien

(2) BOENNINGHAUS,H.-G.
HNO-Heilkunde
Springer Verlag (1977)

(3) BOS,J.-H. et al.
On pathological spontaneous and positional nystagmus
Pract.otorhinolaryng. Basel 25 (1963) 282

(4) DECHER,H.
Vestibularis-Feindiagnostik mittels Nystagmographie (1965)

(5) EGMOND,van et al.
The function of the vestibular organ
Pract.otorhinolaryng. Suppl.2 ad Vol.XIV (1952)

(6) HEGENER,J.
Beziehungen zwischen Ohr und Auge
in DENKER und KAHLER HNO-Heilkunde Bd 7 S.574$_{ff}$

(7) JONGKEES,B.W.
Physiologie und Pathol. des Vestibularorgans
Arch.f.klin.und experim.Ohren,Nasen,Kehlkopfkunde
Bd 194 (1969) 1

(8) KAHLE,W.
Nervensystem und Sinnesorgane des Menschen;Taschenatlas der Anatomie Bd 3
Thieme Verlag (1976)

(9) KORNHUBER,H.
Physiologie und Klinik des zentral vestibulären Systems
in BERENDES et al. HNO-Heilkunde Bd III,3 S.217$_{ff}$
(Handbuch HNO-Heilkunde)

(1o) MEYER zum GOTTESBERGE/MAURER
Über den Funktionsmechanismus des vertikalen Bogengangsystems bei der Entstehung des rotatorischen und vertikalen Nystagmus
Arch.Ohr-,Nasen- und Kehlkopfk.Bd 155 (1949) S.7o5$_{ff}$

(11) MITTERMAIER,R.
Die experimentelle Gleichgewichtsprüfung
in BERENDES et al. HNO-Heilkunde Bd III,1 S.581$_{ff}$
(Handbuch HNO-Heilkunde)

(12) RUTTIN,E.
Funktionsprüfung des Vestibularapparates
in DENKER und KAHLER HNO-Heilkunde Bd 8 S.995$_{ff}$

(13) SCHILLINGS
Ein Beitrag zur Funktion des Vestibularapparates
Arch.f.HNKehlkopf-Heilkunde Bd 1o4 (1919) 15o

(14) SCHMIDT/THEWS
Einführung in die Physiologie des Menschen
Springer Verlag (1976) S.263$_{ff}$

(15) SOBOTTA/BECHER

Atlas der Anatomie des Menschen 3.Teil

Verlag Urban und Schwarzenberg (1962) S.429$_{ff}$

(16) STENGER,H.

Schwindelanalyse,Untersuchung auf Spontan- und Provokationsnystagmus

in BERENDES et al. HNO-Heilkunde Bd III,1 S.548$_{ff}$

(Handbuch HNO-Heilkunde)

Herrn Professor Dr. Claus M o r g e n s t e r n
danke ich für die Überlassung des Themas und
die fördernde Betreuung der Arbeit.
Für ihre tatkräftige Hilfe bei der Herstellung
der Abbildungen und Schemata spreche ich Frau
S e e k meinen Dank aus.

Lebenslauf

Als dritter Sohn des Maschinenbauingenieurs Alfred Farrenkopf und seiner Ehefrau Franziska,geb. Vetter, wurde ich,Hans-Jochem Farrenkopf,am 29.Januar 195o in Heidenheim/Aalen geboren.

Nach der Einschulung im Jahre 1956 in Bielefeld besuchte ich ab 1959 das 4.Volkschuljahr in Nürnberg, wo ich im Frühjahr 196o auf die "Albrecht Dürer Oberrealschule"wechselte.In der Folge besuchte ich ab 1962 das "Theodor Schwann Gymnasium" in Neuß sowie das "Gymnasium Ernestinum" in Celle,wo ich am 25.Mai 197o das Abitur bestand.

Anschließend leistete ich zwei Jahre Bundeswehrdienstzeit ab.

Im Wintersemester 1972 begann ich in Düsseldorf mit dem Studium der Biologie und bestand am 24.Oktober 1976 das Vordiplom.Von diesem Studium wurden mir drei Semester und die naturwissenschaftliche Vorprüfung für Zahnmediziner auf das Studium der Zahnheilkunde anerkannt, welches ich ab dem Sommersemester 1976 an der Universität Kiel begann.Dort legte ich am 27.April 1977 die zahnärztliche Vorprüfung ab und wechselte danach an die Universität Düsseldorf.Nach dem klinischen Studium bestand ich hier am 8.Oktober 1979 die zahnärztliche Prüfung.

Seit dem 14.Januar 1977 bin ich verheiratet mit Ulrike Schwanitz-Farrenkopf,geb.Schwanitz.